

## ADSORPTION KINETICS OF Pb(II), Cd(II) AND Cr(III) ON ADSORBENT PRODUCED BY PROTECTED-CROSSLINKING OF HUMIC ACID-CHITOSAN

### Kinetika Adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) pada Adsorben Produk Pengikatan-Silang Terproteksi Asam Humat/Kitosan

Dewi Umaningrum\*, Uripto Trisno Santoso, Radna Nurmasari, and Rahmat Yunus

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Lambung Mangkurat University, Jl. A. Yani Km 35,8 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia 70714

Received December 3, 2009; Accepted Januari 18, 2010

### ABSTRACT

Study on adsorption kinetics of of Pb(II), Cd(II) and Cr(III) on adsorbent which was produced by protected-crosslinking of humic acid-chitosan has been done. The Langmuir-Hinshelwood, pseudo first- and second-order kinetics models were used to describe the kinetic data, and the rate constants of adsorption were also evaluated. The experimental data fitted well the second-order kinetics model, indicating that the chemical sorption is the rate-limiting step, instead of mass transfer. The initial metal ion concentration significantly affects the adsorption rate. An increase in initial metal ion concentration results in the decrease in adsorption rate of the metals.

**Keywords:** kinetics, adsorption, crosslinking, humic acid, chitosan

### PENDAHULUAN

Seiring dengan berjalannya waktu, perkembangan industri biasanya diikuti pula oleh peningkatan pencemaran lingkungan sebagai akibat pembuangan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) oleh industri. Upaya untuk mengatasi pencemaran yang disebabkan oleh industri adalah dengan cara menurunkan konsentrasi pencemar hingga di bawah ambang batas baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke lingkungan dan metode yang umum digunakan adalah metode reduksi, pertukaran ion, osmosis balik, koagulasi, adsorpsi, ekstraksi pelarut, *electrolytic recovery*, pengendapan, atau kombinasi dari beberapa metode tersebut [1]. Metode adsorpsi merupakan metode alternatif yang sangat sesuai dengan kondisi negara berkembang karena lebih murah dan praktis, terutama dengan menggunakan *low cost adsorbents* seperti material lempung, limbah pertanian, gambut, dan limbah pengolahan makanan dari laut (*seafood*). Berbagai upaya untuk mengembangkan, memodifikasi atau meningkatkan kinerja adsorben ini masih terus dilakukan hingga saat ini. Beberapa parameter kinerja adsorben dimaksud adalah stabilitas adsorben, kapasitas adsorpsi, atau kinetika adsorpsinya terhadap beberapa logam berat.

Asam humat (AH) dari tanah gambut berpotensi tinggi untuk digunakan sebagai adsorben, karena AH memiliki kemampuan yang tinggi dalam mengikat ion logam berat seperti Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) [2]. Namun demikian, karena AH mudah larut pada pH medium netral hingga basa, beberapa peneliti telah mencoba

melakukan kajian imobilisasi asam humat pada berbagai substrat dan mengaplikasikannya sebagai adsorben logam berat [3].

Kajian imobilisasi asam humat pada kitosan dengan metode pengikatan-silang terproteksi telah dilakukan oleh Santoso dkk [4]. Adsorben produk pengikatan-silang terproteksi ini memiliki kapasitas adsorpsi yang sangat tinggi terhadap Pb(II), Cd(II) dan Cr(III). Walaupun kapasitas adsorpsi yang tinggi ini telah dilaporkan tetapi laju adsorpsinya belum dilaporkan. Data laju reaksi selain berguna untuk memahami kemungkinan mekanisme reaksi adsorpsi yang terlibat, data ini juga dapat digunakan untuk mengukur kinerja adsorben dan memprediksi prospek aplikasinya untuk adsorpsi pada sistem kolom. Pada artikel ini dilaporkan hasil kajian kinetika adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) pada adsorben produk hasil pengikatan-silang terproteksi asam humat dengan kitosan.

### METODE PENELITIAN

#### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi: asam humat dari tanah gambut, kitosan dari kulit udang, akuades, akuabides, pH indikator universal, kertas saring Whatman No. 42, dan bahan-bahan berkualitas analitik (Merck) seperti: HNO<sub>3</sub>, HCl, NaOH, glutaraldehid, CH<sub>3</sub>COOH, HF, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dan CrCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, serta Na<sub>2</sub>EDTA (AJAX).

\* Corresponding author.

Email address : dewi\_umaningrum@yahoo.co.id

## Alat

Peralatan penelitian meliputi alat gelas laboratorium, pengaduk magnetik, *hot plate*, termometer, neraca analitik (OHAUS), pH Meter (Cyberscan), oven (Carbolite), dan spektrometer serapan atom (Avanta versi 2.02).

## Prosedur Kerja

Isolasi asam humat dari tanah gambut dilakukan dengan mengacu pada metode isolasi asam humat yang direkomendasikan oleh *International Humic Substances Society* (IHSS) [5] dengan beberapa modifikasi [6]. Isolasi kitin dari cangkang udang dilakukan dengan menggunakan metode No dan Meyer [4], yakni melalui prosedur deproteinasi-demineralisasi-pencucian. Karakterisasi asam humat, kitosan dan produk pengikatan-silangnya telah dilaporkan pada artikel sebelumnya [2,4,8-9].

Prosedur pengikatan-silang antara molekul asam humat dan kitosan dengan metode proteksi dilakukan dengan cara yang sama seperti pada penelitian terdahulu [4]. Kajian kinetika reaksi adsorpsi dilakukan dengan cara mengukur jumlah ion teradsorpsi pada berbagai waktu dan konsentrasi awal logam. Variasi waktu (menit) adalah: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, dan 60, sedangkan variasi konsentrasi awal logam (mg/L) adalah: 10, 25, 50, 75 dan 100. Masing-masing percobaan dilakukan dengan tiga kali pengulangan (*triplo*).

Kinetika adsorpsi ditentukan dengan menggunakan model kinetika Langmuir-Hinshelwood [10], model kinetika orde pertama Lagergren (1898) [11], dan model kinetika pseudo-orde kedua McKay & Ho [12]. Persamaan model kinetika Langmuir-Hinshelwood dapat diekspresikan seperti pada persamaan (1).

$$\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_t}\right)}{C_0 - C_t} + k_o = \frac{k_1 t}{C_0 - C_t} \quad (1)$$

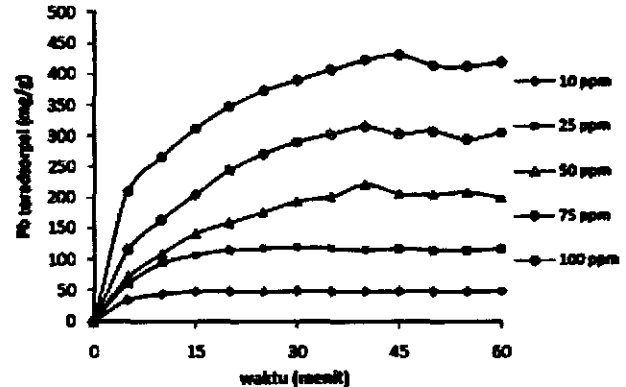
Dengan  $k_1$  adalah konstanta laju adsorpsi,  $k_o$  adalah konstanta kesetimbangan,  $C_0$  adalah konsentrasi awal ion logam, dan  $C_t$  adalah konsentrasi ion logam yang tersisa setelah adsorpsi selama waktu  $t$ . Konstanta laju adsorpsi dapat ditentukan dari nilai *slope* kurva linear  $\ln(C_0/C_t)/(C_0 - C_t)$  lawan  $t/(C_0 - C_t)$ .

Selanjutnya kinetika reaksi juga ditentukan menggunakan model kinetika yang lain seperti model kinetika orde pertama Lagergren, seperti yang diekspresikan pada persamaan (2), dan model kinetika orde kedua McKay & Ho, seperti yang diekspresikan pada persamaan (3).

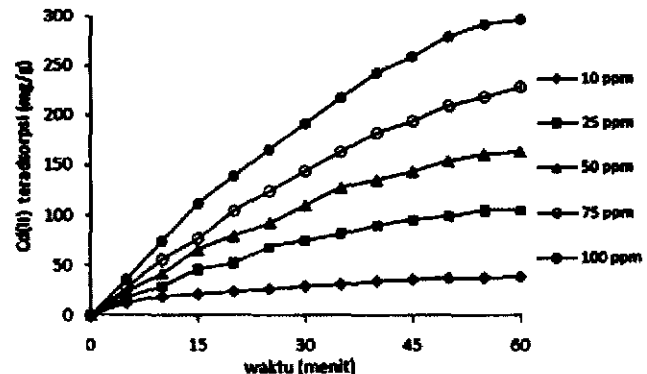
$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3)$$

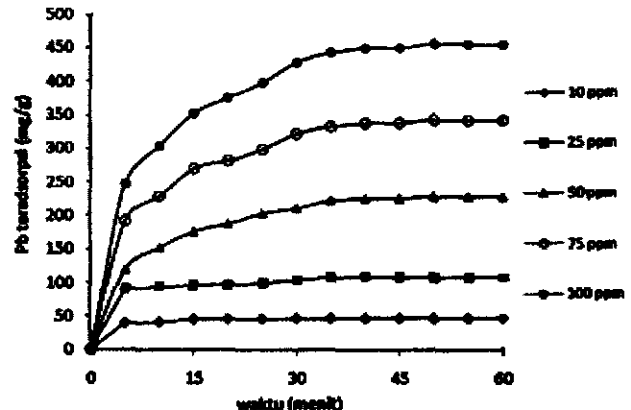
Dengan  $k_1$  adalah konstanta laju adsorpsi pseudo-orde satu,  $k_2$  adalah konstanta laju pseudo-orde dua,  $q_e$  adalah banyaknya ion yang teradsorpsi pada saat kesetimbangan, dan  $q_t$  adalah banyaknya ion yang teradsorpsi pada saat  $t$ .



Gambar 1. Kurva hubungan Pb(II) teradsorpsi dengan waktu reaksi pada berbagai konsentrasi awal logam



Gambar 2. Kurva hubungan Cd(II) teradsorpsi dengan waktu reaksi pada berbagai konsentrasi awal logam



Gambar 3. Kurva hubungan Cr(III) teradsorpsi dengan waktu reaksi pada berbagai konsentrasi awal logam

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada artikel terdahulu telah disampaikan bahwa reaksi pengikatan-silang antarmolekul asam humat [9] maupun reaksi pengikatan-silang antara molekul asam humat dan kitosan [8] dapat dilakukan dengan menggunakan agen pengikatan-silang glutaraldehid. Hasil penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa adsorben produk reaksi pengikatan-silang asam humat-kitosan yang disertai dengan metode proteksi situs aktif ternyata memiliki performa yang jauh lebih baik daripada produk reaksi pengikatan-silang asam humat-kitosan tanpa proteksi situs aktif [3-4]. Oleh karena itu, pada artikel ini tidak diuraikan secara detail hasil karakterisasi untuk mengidentifikasi terjadinya reaksi pengikatan-silang antara molekul asam humat dengan molekul kitosan, tetapi lebih ditekankan pada kajian kinetika adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) pada adsorben.

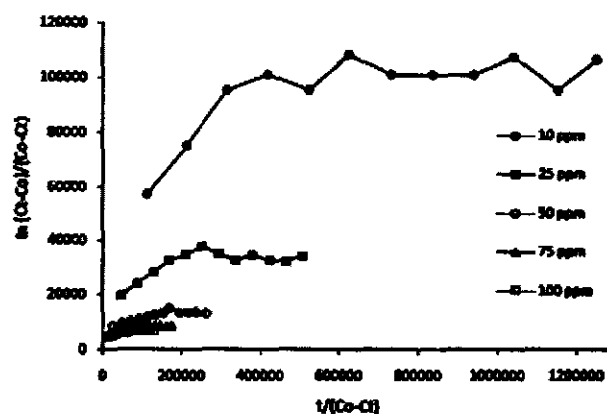
Kinetika reaksi adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) dilakukan dengan cara melakukan percobaan adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) masing-masing dengan konsentrasi awal 10, 25, 50, 75 dan 100 ppm dengan waktu reaksi 5 hingga 60 menit. Jumlah ion Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) yang teradsorpsi pada berbagai konsentrasi awal pada waktu reaksi hingga 60 menit berturut-turut disajikan pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3. Gambar 1 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa waktu reaksi hingga 60 menit ini sudah cukup untuk mencapai waktu kesetimbangan untuk konsentrasi awal Pb(II) dan Cr(III) 10-100 mg/L. Dengan membandingkan Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3 sekilas dapat dilihat bahwa adsorpsi Cd(II) jauh lebih lambat mencapai kesetimbangan daripada adsorpsi Pb(II) dan adsorpsi Cr(III) lebih cepat mencapai kesetimbangan daripada adsorpsi Pb(II) ataupun Cd(II). Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3 juga menunjukkan adanya kecenderungan yang sama bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan menjadi semakin besar untuk konsentrasi awal logam yang semakin besar.

### Model Kinetika Adsorpsi Langmuir-Hinshelwood

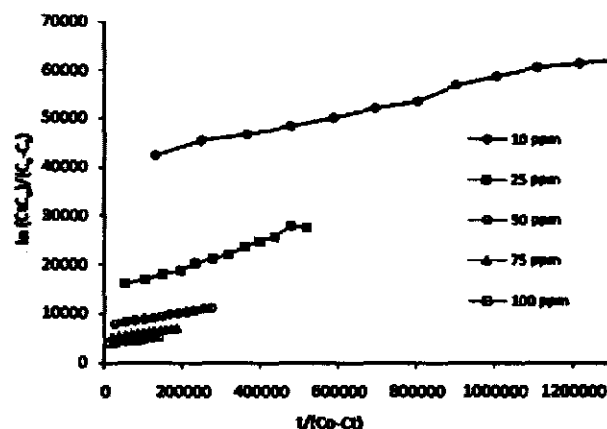
Hasil interpolasi data adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) dalam hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$ , model kinetika Langmuir-Hinshelwood, berturut-turut disajikan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6, sedangkan data nilai koefisien korelasi, *slope*, *intercept* hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$ , dan konstanta laju reaksi untuk masing-masing ion tersebut disajikan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Gambar 4 dan 6 menunjukkan bahwa hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  untuk adsorpsi Pb(II) dan Cr(III) cenderung tidak linear, sedangkan Gambar 5 menunjukkan bahwa hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  untuk adsorpsi Cd(II) tampak cenderung

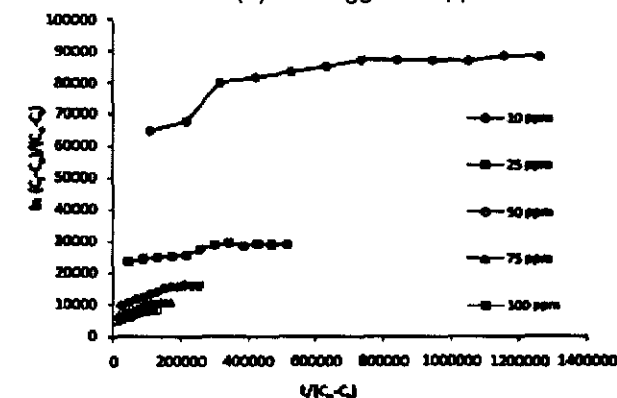
tidak linear. Untuk memastikan ini perlu dilakukan analisis nilai koefisien korelasi  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$ .



Gambar 4. Kurva hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  untuk adsorpsi Pb(II) oleh adsorben pada konsentrasi awal Pb(II) 10 hingga 100 ppm



Gambar 5. Kurva hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  untuk adsorpsi Cd(II) oleh adsorben untuk konsentrasi awal Cd(II) 10 hingga 100 ppm



Gambar 6. Kurva hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  untuk adsorpsi Cr(III) oleh adsorben untuk konsentrasi awal Cr(III) 10 hingga 100 ppm

**Tabel 1.** Nilai koefisien korelasi, *slope*, dan *intercept* hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  serta konstanta laju adsorpsi Pb(II) pada berbagai konsentrasi awal logam

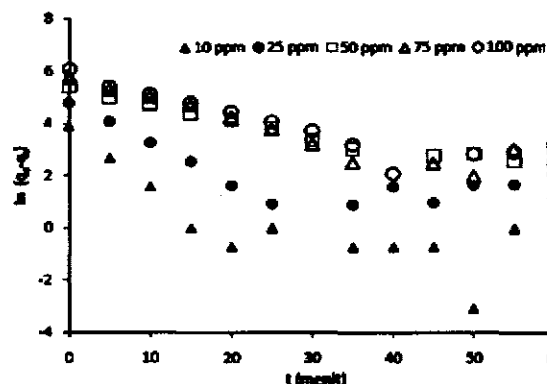
$C_0$ (mg/L)	10	25	50	75	100
<i>r</i>	0,69276239	0,6447533	0,84951563	0,8795739	0,91160398
<i>slope</i>	0,02761269	0,02206142	0,02175323	0,01963627	0,0199292
$k_1$	0,02761269	0,02206142	0,02175323	0,01963627	0,0199292
<i>intercept</i>	76799,105	25646,0253	9044,452	6115,94608	4813,86857
$k_0$	76799,105	25646,0253	9044,452	6115,94608	4813,86857

**Tabel 2.** Nilai koefisien korelasi, *slope*, dan *intercept* hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  serta konstanta laju adsorpsi Cd(II) pada berbagai konsentrasi awal logam

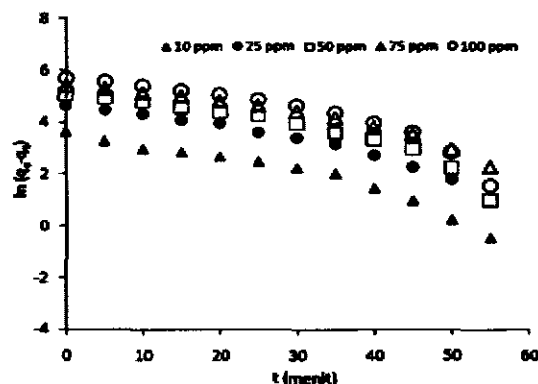
$C_0$ (mg/L)	10	25	50	75	100
<i>r</i>	0,99496877	0,99393399	0,99719477	0,99904885	0,99794317
<i>slope</i>	0,01742458	0,02652943	0,01357307	0,01155979	0,01123133
$k_1$	0,01742458	0,02652943	0,01357307	0,01155979	0,01123133
<i>intercept</i>	40404,3006	14149,7624	7531,44638	5002,78392	3775,49297
$k_0$	40404,3006	14149,7624	7531,44638	5002,78392	3775,49297

**Tabel 3.** Nilai koefisien korelasi, *slope*, dan *intercept* hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  serta konstanta laju adsorpsi Cr(III) pada berbagai konsentrasi awal logam

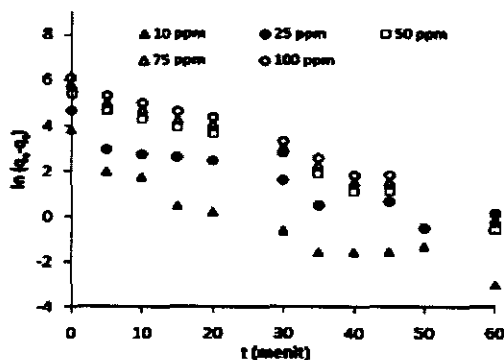
$C_0$ (mg/L)	10	25	50	75	100
<i>r</i>	0,84175772	0,92754807	0,96038724	0,95916079	0,95889611
<i>slope</i>	0,01775524	0,01313237	0,02948993	0,02913205	0,02943601
$k_1$	0,01775524	0,01313237	0,02948993	0,02913205	0,02943601
<i>intercept</i>	70063,3761	23425,7922	9731,44632	6567,04447	4881,87695
$k_0$	70063,3761	23425,7922	9731,44632	6567,04447	4881,87695

**Gambar 7.** Kurva hubungan  $\ln (q_e - q_t)$  versus  $t$  untuk adsorpsi Pb(II) oleh adsorben pada konsentrasi awal Pb(II) 10 hingga 100 ppm

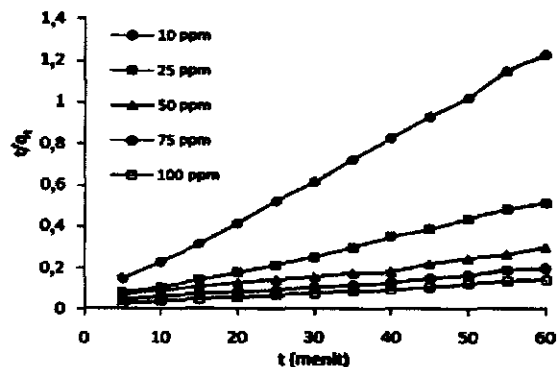
Berdasarkan nilai koefisien korelasi hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  untuk masing-masing konsentrasi awal Pb(II) (Tabel 1) dan Cr(III) (Tabel 3) maka dapat dinyatakan bahwa data adsorpsi Pb(II) dan Cr(III) tidak mengikuti kinetika reaksi adsorpsi persamaan Langmuir-Hinshelwood. Namun demikian, nilai koefisien korelasi hubungan  $\{\ln (C_0/C_t)\}/(C_0-C_t)$  versus  $t/(C_0-C_t)$  untuk masing-masing konsentrasi awal Cd(II) (Tabel 2 dan Tabel 3) tampaknya menunjukkan bahwa adsorpsi Cd(II) mengikuti model kinetika adsorpsi Langmuir-Hinshelwood dengan sangat baik (nilai  $r >$

**Gambar 8.** Kurva hubungan  $\ln (q_e - q_t)$  versus  $t$  untuk adsorpsi Cd(II) pada adsorben untuk konsentrasi awal Cd(II) 10 hingga 100 ppm

0,99). Walaupun adsorpsi Cd(II) pada adsorben mengikuti kinetika adsorpsi Langmuir-Hinshelwood dengan sangat baik, tetapi nilai  $k_0$  ternyata tidak sama untuk konsentrasi awal yang berbeda. Lebih jauh, nilai konstanta laju reaksi  $k_1$  yang tidak sama pada konsentrasi awal Pb(II), Cd(II) maupun Cr(III) yang berbeda menunjukkan bahwa reaksi ini tidak benar-benar reaksi orde pertama, tetapi kemungkinan reaksi berorde semu (pseudo-orde). Berdasarkan hal ini maka data adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) perlu diuji dengan model kinetika yang lain seperti model kinetika



**Gambar 9.** Kurva hubungan  $\ln (q_e - q_i)$  versus  $t$  untuk adsorpsi Cr(III) pada adsorben untuk konsentrasi awal Cr(III) 10 hingga 100 ppm



**Gambar 10.** Kurva hubungan  $t/q_t$  versus  $t/q_e$  untuk adsorpsi Pb(II) oleh adsorben pada konsentrasi awal Pb(II) 10 hingga 100 ppm

**Tabel 4.** Nilai koefisien korelasi dan *slope* hubungan  $\ln (q_e - q_i)$  versus  $t$  serta konstanta laju adsorpsi Pb(II) pada berbagai konsentrasi awal logam

parameter	konsentrasi awal Pb(II) (mg/L)				
	10	25	50	75	100
<i>r</i>	-0,8298933	-0,7786203	-0,9431887	-0,9315192	-0,9333916
<i>slope</i>	-0,0796933	-0,049913	-0,0451122	-0,0593153	-0,0594899
$k_1$	0,07969334	0,04991296	0,0451122	0,05931533	0,0594899

**Tabel 5.** Nilai koefisien korelasi dan *slope* hubungan  $\ln (q_e - q_i)$  versus  $t$  serta konstanta laju adsorpsi Cd(II) pada berbagai konsentrasi awal logam

parameter	konsentrasi awal Cd(II) (mg/L)				
	10	25	50	75	100
<i>r</i>	-0,641616	-0,7054752	-0,837613	-0,7650094	-0,9033018
<i>slope</i>	-0,0713193	-0,0631646	-0,0634197	-0,066685	-0,0539097
<i>k</i>	0,0713193	0,0631646	0,0634197	0,06668498	0,0539097

**Tabel 6.** Nilai koefisien korelasi dan *slope* hubungan  $\ln (q_e - q_i)$  versus  $t$  serta konstanta laju adsorpsi Cr(III) pada berbagai konsentrasi awal logam

parameter	konsentrasi awal Cr(III) (mg/L)				
	10	25	50	75	100
<i>r</i>	-0,9503651	-0,9455298	-0,9670099	-0,9672497	-0,967662
<i>slope</i>	-0,0972911	-0,0730594	-0,1065665	-0,1061327	-0,1065878
$k_1$	0,09729111	0,0730594	0,1065665	0,1061327	0,1065878

adsorpsi pseudo-orde pertama Lagergren dan model kinetika adsorpsi pseudo-orde kedua McKay & Ho.

#### Model Kinetika Adsorpsi Pseudo-Orde Pertama Lagergren

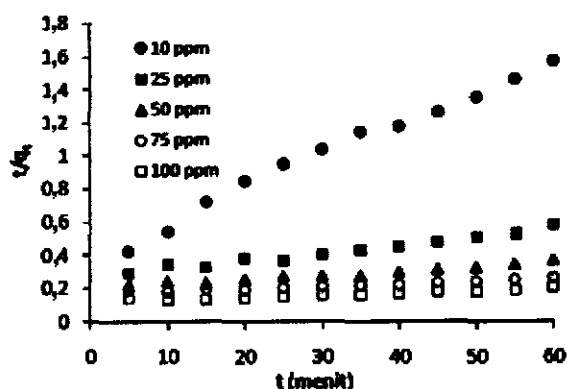
Hasil interpolasi data adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) hubungan  $\ln (q_e - q_i)$  versus  $t$  (model kinetika Lagergren) berturut-turut disajikan pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9, sedangkan nilai koefisien korelasi, *slope*, dan konstanta laju reaksinya disajikan pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Berdasarkan pola grafik pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 serta nilai koefisien korelasi Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 maka dapat dinyatakan bahwa

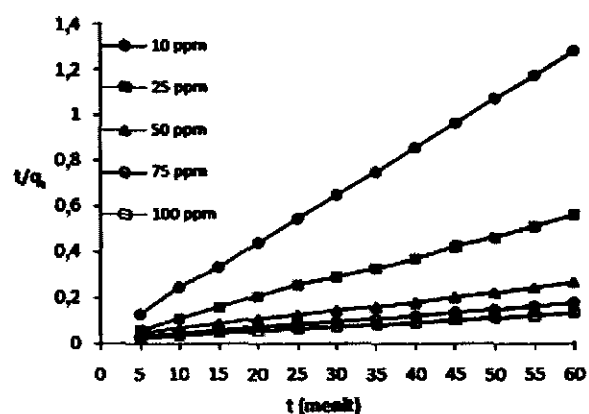
data adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) juga tidak mengikuti kinetika reaksi adsorpsi pseudo-orde pertama Lagergren. Oleh karena itu data adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) ini juga perlu diuji lagi dengan model kinetika adsorpsi yang lain, yakni model kinetika adsorpsi pseudo-orde kedua McKay & Ho.

#### Model Kinetika Adsorpsi Pseudo-Orde Kedua McKay & Ho

Plot hubungan  $t/q_t$  versus  $t/q_e$  (model kinetika adsorpsi pseudo-orde kedua McKay & Ho) untuk adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) berturut-turut disajikan pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12, sedangkan nilai koefisien korelasi, *slope*, *intercept*,



**Gambar 11.** Kurva hubungan  $t/q_t$  versus  $t$  untuk adsorpsi Cd(II) oleh adsorben pada konsentrasi awal Cd(II) 10 hingga 100 ppm



**Gambar 12.** Kurva hubungan  $t/q_t$  versus  $t$  untuk adsorpsi Cr(III) oleh adsorben pada konsentrasi awal Cr(III) 10 hingga 100 ppm

**Tabel 7.** Nilai koefisien korelasi, *slope*, dan *intercept* hubungan  $t/q_t$  versus  $t$  serta konstanta laju adsorpsi Pb(II) pada berbagai konsentrasi awal logam

parameter	konsentrasi awal Pb(II) (mg/L)				
	10	25	50	75	100
<i>r</i>	0,999535	0,997570	0,990201	0,992920	0,997714
<i>slope</i>	0,020127	0,008184	0,003946	0,002722	0,002104
<i>intercept</i>	0,021868	0,020066	0,044428	0,027647	0,014440
<i>k</i>	0,018525	0,003338	0,000350	0,000268	0,000307

**Tabel 8.** Nilai koefisien korelasi, *slope*, dan *intercept* hubungan  $t/q_t$  versus  $t$  serta konstanta laju adsorpsi Cd(II) pada berbagai konsentrasi awal logam

parameter	konsentrasi awal Cd(II) (mg/L)				
	10	25	50	75	100
<i>r</i>	0,991723	0,985238	0,982302	0,977070	0,970638
<i>slope</i>	0,019695	0,004663	0,002520	0,001424	0,001169
<i>intercept</i>	0,399381	0,271819	0,202439	0,169536	0,123198
<i>k<sub>2</sub></i>	0,000971	0,000080	0,000031	0,000012	0,000011

**Tabel 9.** Nilai koefisien korelasi, *slope*, dan *intercept* hubungan  $t/q_t$  versus  $t$  serta konstanta laju adsorpsi Cr(III) pada berbagai konsentrasi awal logam

parameter	konsentrasi awal Cr(III) (mg/L)				
	10	25	50	75	100
<i>r</i>	0,999924	0,999271	0,999339	0,999120	0,999153
<i>slope</i>	0,020871	0,008877	0,003923	0,002630	0,001965
<i>intercept</i>	0,022119	0,020548	0,024802	0,015676	0,012209
<i>k<sub>2</sub></i>	0,019694	0,003835	0,000620	0,000441	0,000316

dan konstanta laju reaksinya disajikan pada Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9.

Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12 menunjukkan bahwa grafik hubungan  $t/q_t$  versus  $t$  untuk adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) oleh adsorben pada konsentrasi awal 10 hingga 100 mg/L cenderung linear. Ini menunjukkan bahwa data adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) oleh adsorben sangat sesuai dengan model kinetika adsorpsi pseudo-orde kedua McKay & Ho. Pernyataan kelinearan ini diperkuat oleh nilai koefisien korelasi (*r*) yang mendekati satu, seperti yang terlihat pada Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9. Selain itu, jika

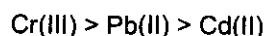
diperhatikan lebih lanjut, Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9 juga menunjukkan bahwa nilai konstanta laju reaksinya cenderung semakin kecil dengan semakin besarnya konsentrasi awal Pb(II), Cd(II), dan Cr(III).

Karena konstanta laju adsorpsi pseudo-orde kedua tersebut juga dipengaruhi oleh konsentrasi awal ion logam, maka sangat menarik untuk mencoba menerapkan data adsorpsi pada suatu model difusi intrapartikel. Laju awal difusi intrapartikel ditentukan dengan linearisasi kurva  $q_t = f(t^{1/2})$ . Jika plot berbentuk multilinear maka dimungkinkan telah terjadi dua atau lebih tahap adsorpsi. Plot hubungan  $q_t$  versus  $t^{1/2}$  pada

konsentrasi awal 10 hingga 100 ppm untuk Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) masing-masing disajikan berturut-turut pada Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15.

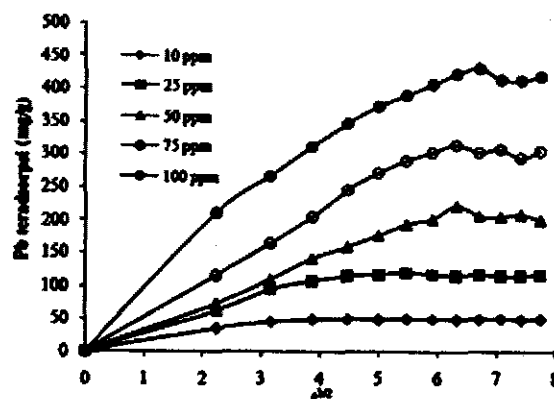
Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15. menunjukkan bahwa plot hubungan jumlah kation logam yang teradsorpsi versus  $t^{1/2}$  cenderung multilinear. Berdasarkan plot hubungan kation logam teradsorpsi versus  $t^{1/2}$  ini dan pola hubungan konstanta laju adsorpsi kation logam pada Gambar 13 maka dapat dinyatakan bahwa adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) oleh adsorben melibatkan beberapa tahap adsorpsi. Ini berarti bahwa sebelum tahap adsorpsi fisika ataupun kimia, reaksi adsorpsi ini sangat dipengaruhi oleh tahap difusi. Ini dapat menjelaskan mengapa konstanta laju reaksi juga dipengaruhi oleh konsentrasi awal kation logam. Semakin besar konsentrasi awal kation logam maka akan semakin berjejal kation-kation logam yang akan berdifusi dan ini dapat mengakibatkan laju difusi akan menurun sehingga akan semakin kecil laju reaksi adsorpsinya.

Jika laju adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) dibandingkan, yakni dengan membandingkan nilai konstanta laju reaksi pseudo-orde kedua McKay & Ho tersebut, maka dapat dilihat bahwa reaksi adsorpsi Cr(III) lebih cepat daripada reaksi adsorpsi Pb(II), dan reaksi adsorpsi Pb(II) lebih cepat daripada reaksi adsorpsi Cd(II).

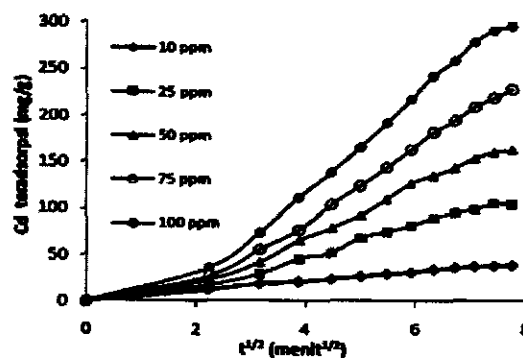


Sebagai ilustrasi, Tabel 10 memberikan data perbandingan nilai konstanta laju reaksi adsorpsi logam-logam tersebut.

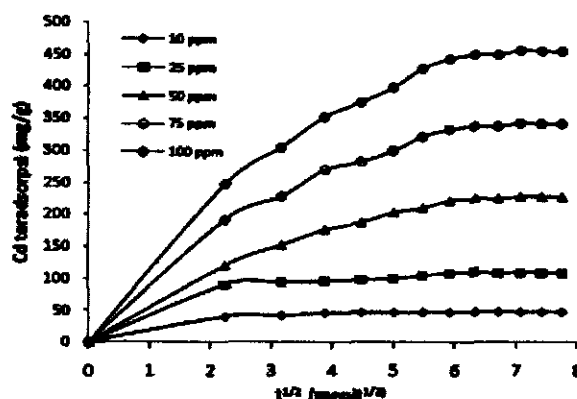
Urutan nilai konstanta laju reaksi tersebut sejalan dengan hasil penelitian terdahulu baik untuk kinetika reaksi adsorpsi ion-tunggal Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) pada asam humat [10] maupun kinetika reaksi adsorpsi ion-tunggal Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) pada humin yang diimobilisasi pada silika [13]. Namun demikian, jika dibandingkan dengan adsorpsi Pb(II) pada tanah gambut, laju adsorpsi Pb(II) pada adsorben produk pengikatan-silang terproteksi asam humat-kitosan ini ternyata lebih rendah daripada laju adsorpsi Pb(II) pada tanah gambut. Konstanta laju adsorpsi Pb(II) pada tanah gambut adalah 0,3350 g/mg.menit untuk konsentrasi awal Pb(II) 50 mg/L, dan 0,0698 g/mg.menit untuk konsentrasi awal Pb(II) 100 mg/L [14]. Ho & McKay [14] juga melaporkan bahwa konstanta laju adsorpsi Pb(II)



Gambar 13. Kurva hubungan Pb(II) teradsorpsi versus  $t^{1/2}$



Gambar 14. Kurva hubungan Cd(II) teradsorpsi versus  $t^{1/2}$



Gambar 15. Kurva hubungan Cd(II) teradsorpsi versus  $t^{1/2}$

Tabel 10. Nilai konstanta laju pseudo-orde kedua reaksi adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) pada berbagai konsentrasi awal logam

Konsentrasi awal (mg/L)	Konstanta laju adsorpsi pseudo-orde kedua (g/mg.menit)				
	10	25	50	75	100
Pb(II)	0,018525	0,003338	0,000350	0,000268	0,000307
Cd(II)	0,000971	0,000080	0,000031	0,000012	0,000011
Cr(III)	0,019694	0,003835	0,000620	0,000441	0,000316

pada gambut cenderung meningkat dengan bertambah besarnya dosis tanah gambut yang digunakan (variasi konsentrasi gambut 4 g/L hingga 32 g/L untuk konsentrasi awal Pb(II) 100 mg/L). Ini menunjukkan bahwa laju adsorpsi Pb(II) pada gambut cenderung meningkat dengan semakin besarnya rasio konsentrasi adsorben per konsentrasi ion logam yang digunakan. Ho & McKay menggunakan adsorben gambut sebanyak 2 g/(250 mL) untuk variasi konsentrasi awal Pb(II) 35-210 mg/L, sedangkan penelitian ini menggunakan adsorben 0,05 g/(250 mL) untuk variasi konsentrasi awal Pb(II) 5-100 mg/L, yang berarti rasio massa adsorben per massa ion Pb(II) dalam penelitian ini lebih kecil daripada rasio massa adsorben per massa ion Pb(II) pada penelitian Ho & McKay. Pengaruh rasio adsorben per adsorbat terhadap laju adsorpsi ini juga dapat menjelaskan mengapa konstanta laju adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) pada adsorben cenderung semakin kecil pada konsentrasi awal logam yang semakin besar (untuk berat adsorben yang sama).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa kinetika adsorpsi Pb(II), Cd(II), dan Cr(III) sangat sesuai dengan model kinetika reaksi pseudo-orde kedua McKay & Ho. Mekanisme adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cr(III) dipengaruhi oleh tahap difusi dan nilai konstanta laju reaksinya cenderung semakin kecil pada konsentrasi awal logam yang semakin besar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih atas kepada Ditjen DIKTI Depdiknas yang telah mendanai penelitian ini dengan surat perjanjian pelaksanaan penelitian nomer: 024/SP2H/PP/DP2M/III/2008 tanggal 6 Maret 2008.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Mahajan, S. P., 2002, *Pollution Control in Process Industries*, Tata McGraw-Hill Pub. Co. Ltd., New Delhi.
2. Santoso, U.T., Herdiansyah, and Mikrianto, E., 2004, Isolasi Asam Humat dari Tanah Gambut dan Batubara serta Interaksinya dengan Krom(III), Timbal(II) dan Kadmium(II), Laporan Hibah Penelitian Program Peningkatan Kualitas ISS dan Jurusan, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
3. Santoso, U.T., Irawati, U., Umaningrum, D., Nurmasari, R., Santosa, S.J., Siswanta, D., and Rusdiarso, B., 2009, *Proceeding of International Seminar on Sains and Technology*: 706-712.
4. Santoso, U.T., Irawati, U., Umaningrum, D., and Nurmasari, R., 2008, *Indo. J. Chem.*, 8, 2, 177-183.
5. Tarchitzky, J., Chen, Y. dan Banin, A., 1993, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, 367-372.
6. Santoso, U.T. dan Herdiansyah, 2004, *Indo. J. Chem.*, 4, 1, 12-25.
7. No, H.K. and Meyer, S.P., 1989, *J. Agric. Food Chem.*, 37, 3, 580-583.
8. Santoso, U.T., Irawati, U., Umaningrum, D., and Utami, U.B.L., 2007, *Imobilisasi Asam Humat pada Kitosan Menggunakan Metode Pengikatan-Silang dan Aplikasinya sebagai Adsorben Pb(II) dan Cd(II)*, Seminar Nasional Kimia, Yogyakarta, 17 November 2007.
9. Santoso, U.T., Irawati, U., Umaningrum, D., and Komari, N., 2007, *Pengaruh Pengikatan-Silang Antarmolekul Asam Humat terhadap Kelarutan dan Kemampuannya Mengadsorpsi Pb(II) dan Cd(II)*, Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia, Semarang, 22 November 2007.
10. Jin, X., Bailey, G.W., Yu, Y.S., dan Lynch, A.T., 1996, *Soil Sci.*, 161, 8, 509-520.
11. Azizian, S., 2004, *J. Colloid Interface Sci.*, 276, 1, 47-52.
12. McKay, G. and Ho, Y.S., 1999, *Process Biochem.*, 34, 5, 451-465.
13. de la Rosa, G., Gardea-Torresdey, J.L., Peralta-Videa, J.R., Herrera, I., and Contreras, C., 2003, *Bioresour. Technol.*, 90, 1, 11-17.
14. Ho, Y.S. and McKay, G., 2000, *Water Res.*, 34, 3, 735-742.

